Süsteemprogrammeerimine keeles C

10 Loeng

Lõimed

- Lõimed on käivitatavad programmiosad, mis jooksevad ühe protsessi raames paralleelselt.
- Lõimel on oma lõime ID, *stack*, *stack pointer*, käsuloendur (*program counter*), seisundikoodid (*condition codes*) ja üldotstarbelised registrid.
- Ühe protsessi mitu lõime jooksevad protsessi kontekstis paralleelselt, jagavad sellega koodi, andmeid, *heap*i, jagatud teeke (*library*), signaali *handler*eid, ja avatud faile.

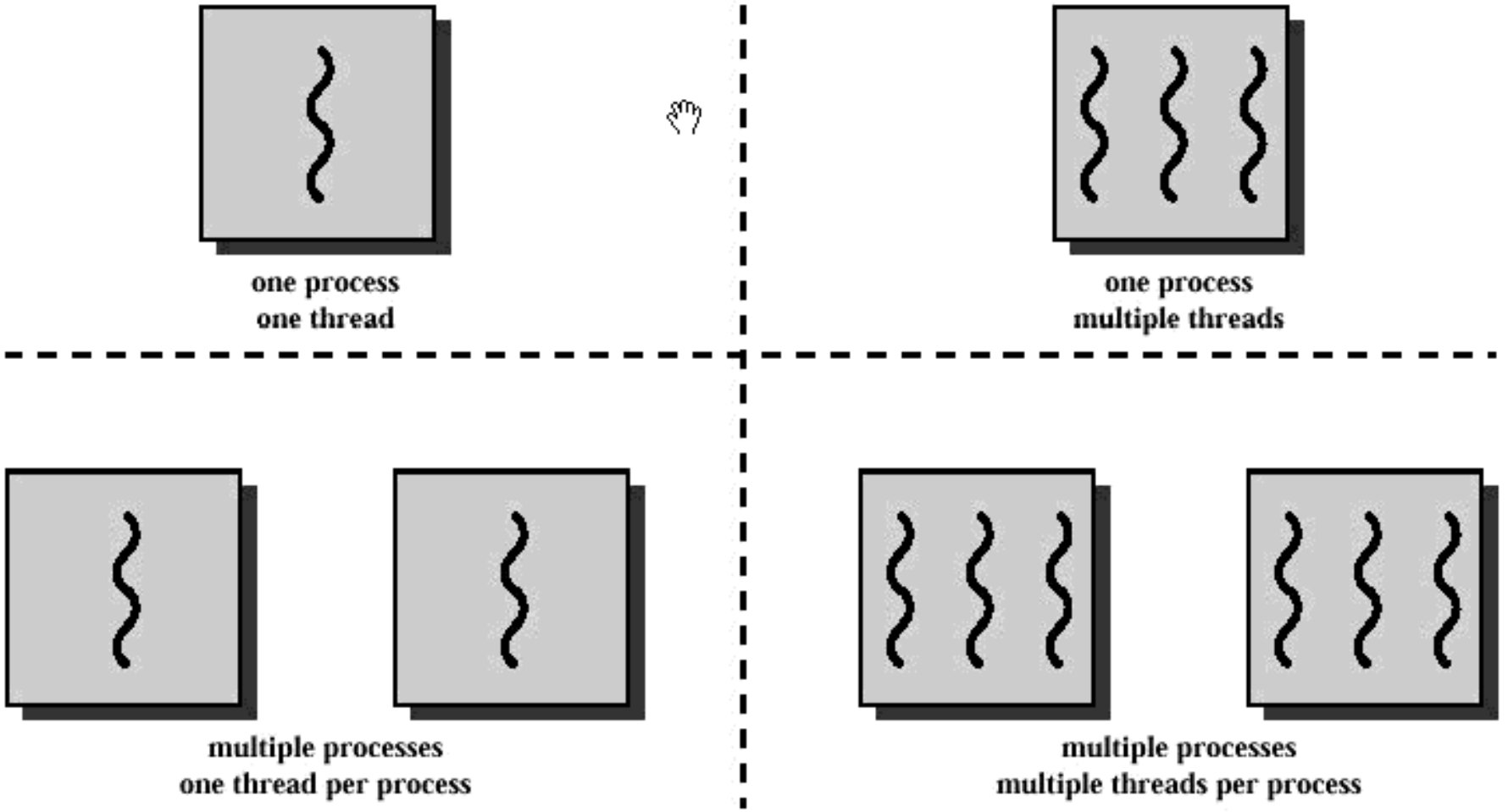
Protsess vs lõim

- Protsess – ressursside omanik
  - virtuaalne aadressiruum sisaldab protsessi *image*t
  - ligipääs protsessori(te)le, teistele protsessidele, failidele ja I/O ressurssidele on kaitstud
- Lõim – protsessoriaja saaja
  - sisaldab käivitamise seisundit (jookseb, valmis, blokitud...)
  - salvestab lõime konteksti kui ei jookse
  - oma käivitus*stack* ja mõned lõimepõhised olekumuutujad
  - ligipääs protsessi mälule ja aadressruumile

Lõimede eelised protsesside ees

- Mõistliku implementeerimise puhul:
  - Võtab lõime loomine vähem aega kui protsesside oma, sest kasutatakse olemasolevat aadressruumi
  - Lõime lõpetamine võtab vähem aega
  - Kahe samas protsessis oleva lõime vaheline kontekstilülitus võtab vähem aega; osaliselt jagatud aadressiruumi tõttu
  - Vähem suhtlemisele kuluvat ressurssi: lõimede vaheline suhtlus on väga lihtne, sest jagatakse pea kõike, eeskätt aadressruumi. Ühes lõimes tekkinud andmed on teise jaoks kohe kättesaadavad.

Single- vs Multithreading



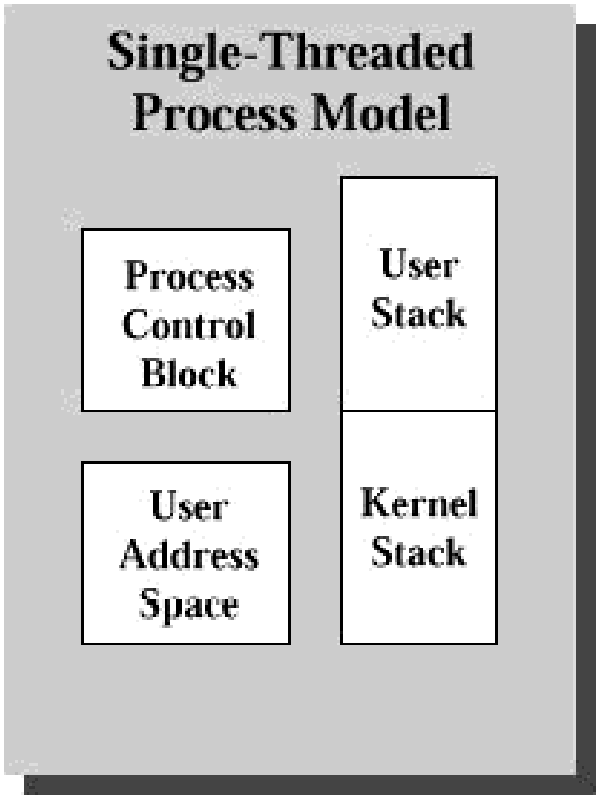
Multithreadingu eelised

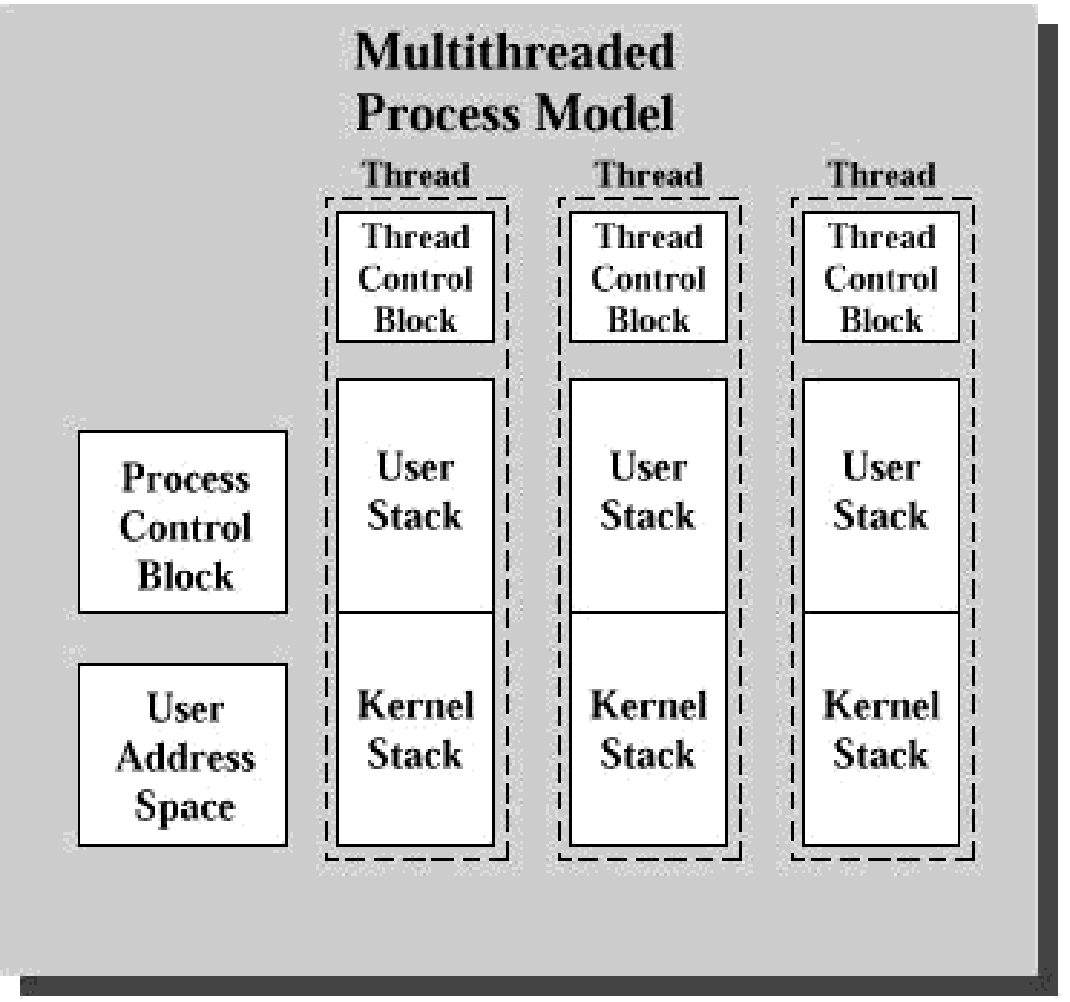
- Programmi reageerimine paraneb
- Kerneli toe puhul kasutatakse mitut protsessorit efektiivsemalt
- Programmistruktuur paraneb
- Kasutatakse vähem süsteemiressursse

Multithreadingu puudused

- Programmi ühe osa kokkujooksmine viib mälust kogu programmi
- Sünkroniseerimisprobleemid
- Turvalisusprobleemid

Single versus Multithreading





Lõimesid kasutav programm

- Näiteprogramm: LANi failiserver
  - Haldab lühikese aja jooksul saabuvaid mitmete failide nõudmisi. Iga soovi hallatakse eraldi lõimes.
  - Erinevad lõimed võivad joosta erinevatel protsessoritel.

Lõimede ...teegid

- Annavad lõimedele liidese:
  - loovad ja hävitavad lõimesid
  - vahendavad lõimede vahel andmeid
  - ajastavad lõimede käivitamist
  - salvestavad ja taastavad lõimede kontekste
- Ei ole osa C standardist
- Näiteks:
  - POSIXi lõimed
  - SOLARISe lõimed

Lõimede juhtimine

- Pthreads (POSIX threads) defineerib ligikaudu 60 funktsiooni, mis võimaldavad C programmidel lõimi luua, hävitada, nende vahel kadudeta infot jagada ja kaaslastele süsteemi olekutest teada anda
- Enamus lõimi kasutatavatest programmidest kasutavad sellest vaid väikest osa

Lõimede tegemine

```
#include <pthread.h>
int  pthread_create(pthread_t  *  thread,
                    pthread_attr_t * attr,
                     void * (*start_routine)(void *),
                      void * arg);
```

- Loob uue lõime, tagastab määratud aadressil selle ID, käivitab ettenäidatud funktsiooni eraldi lõimena ja tagastub. arg võib olla ka NULL
- Tagastab 0 kui edukas ja midagi muud, kui viga

```
pthread_t pthread_self(void);
```

- Tagastab parajasti jooksva lõime ID

Lõimedega hello.c

```
#include <pthread.h>
#include <sdtio.h>
void *thread(void *vargp);

int main() {
     pthread_t tid;

     pthread_create(&tid, NULL, thread, NULL);
     pthread_join(tid, NULL);
     exit(0);
}

/* thread routine */
void *thread(void *vargp) {
     printf("Hello, world!\n");
     return NULL;
}
```

Lõimede seiskamine

- Lõim seiskub kui täitub üks järgmistest:
  - Kui tagastub kõige kõrgema taseme funktsioon
  - Kui mõni lõim kutsub välja *pthread_exit()* funktsiooni. Argumendiks tagastusväärtuse pointer. Kui põhilõim *pthread_exit()* välja kutsub, ootab protsess kuni kõik lõimed on lõpetanud ja annab protsessi tagastusväärtuseks tagastatava väärtuse.
  - Mõni kaaslõimedest kutsub välja kerneli *exit()* funktsiooni. kogu protsess lõpetab töö
  - Kaaslõim kutsub välja *pthread_cancel()* funktsiooni vastava lõime ID-ga.

Lõimede ... niitmine (reaping)

```
void pthread_exit(void *retval);
int pthread_cancel(pthread_t thread);
int pthread_join(pthread_t tid, void **thread_return);
```

- Teiste lõimede lõpetamist saab oodata käsuga pthread_join()
- Blokib, kuni etteantud thread lõpetab
- Erinevalt Unixi wait() käsust saab oodata ainult ettemääratud threadi järel
- Suvalise threadi järgi ootamine polegi võimalik

Lõimede lahtiühendamine (detach)

```
int pthread_detach(pthread t tid);
```

- Lõim võib olla kas *joinable* või *detached*. *Joinable* tähendab, et teda saab killida ja niita. Tema mäluressurss (stack näiteks) on kinni kuni mõni teine lõim selle puhastab.
- *Detached* lõime samas niita ega killida ei saa. Mälulekete vältimiseks tuleb iga *joinable* thread puhastada või *pthread_detach()* funktsiooniga lahti ühendada.

```
pthread_detach(pthread_self()) // used to detach self
```

- Reeglina tahad kasutada *detached* lõimesid.

Jagatud muutujad

- Muutujate jagamine on põhiline lõimede eelis
- Samas võimaldab ta tekitada ohtralt raskesti avastatavaid vigu
- Jagatud on globaalsed muutujad
- Kohalikud automaatsed muutujad (*stack*) ei ole jagatud, aga ka mitte kaitstud (virtuaalne aadressiruum on ju jagatud)
- Kohalikud staatilised muutujad jagatud nagu globaalsed
- Üldreegel: muutuja on jagatud siis ja ainult siis, kui rohkem kui üks lõim temale viidet omab

Veaolukord jagamisel

```
#include <pthread.h>
#define NITERS 10000000
void *count(void *arg);
/* shared variable */
unsigned int cnt = 0;
int main() {
   pthread_t tid1, tid2;
   pthread_create(&tid1, NULL, count, NULL);
   pthread_create(&tid2, NULL, count, NULL);
   pthread_join(tid1, NULL);
   pthread_join(tid2, NULL);
   if (cnt != (unsigned)NITERS*2)
     printf("BOOM! cnt=%d\n", cnt);
   else
     printf("OK cnt=%d\n", cnt);
 }
void *count(void *arg)  { // thread routine
 int i;
 for (i=0; i<NITERS; i++)
     cnt++;
 return NULL; }
```

Veaolukord jagamisel

- Vastav kood:

```
for (i = 0; i < NITERS;  i++ )
     ctr++;
```

- Tegelik kood:

```
LOAD ctr
INCREMENT ctr
STORE ctr
```

Mutexid

- Mutex on sünkroniseerimismuutuja, mida kasutatakse jagatud muutujate kaitsmisel. Mutexil on 3 lihtsat operatsiooni:
  - init
  - lock
  - unlock

```
int pthread_mutex_init(pthread_mutex_t *mutex,
                       pthread_mutexattr_t *attr);
```

- Kompileerimise ajal initsialiseerimine:

```
pthread_mutex_t mutex =
  PTHREAD_MUTEX_INITIALIZER;
```

Mutexi lukustamine ja vabastamine

- Lukustamine:

```
int pthread_mutex_lock(pthread_mutex_t *mutex);
```

- Vabastamine:

```
int pthread_mutex_unlock(pthread_mutex_t *mutex);
```

- Need on atomaarsed funktsioonid
- Lukustamine on tuntud ka kui *acquire* ja vabastamine kui *release.*
- Üks mutex saab korraga olla ainult ühe lõime käes

Mutexi kasutamine

```
// kuskil väljaspool lõime
pthread_mutex_t mutex;
pthread_mutex_init(&mutex, NULL);

// lõimes sees
pthread_mutex_lock(&mutex);
      // kriitiline segment
      // jagatud muutujate töötlemine
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

Parandatud näide

```
/* thread routine */
void *count(void *arg)
{
  int i;

  for (i=0; i<NITERS; i++) {
    pthread_mutex_lock(&mutex);
    cnt++;
    pthread_mutex_unlock(&mutex);
}
return NULL;
```

Condition variables

- *Condition variable* on muutuja, mida kasutatakse lõimede omavaheliseks sünkroniseerimiseks.

```
int pthread_cond_init(pthread_cond_t *cond,
                      pthread_condattr_t *attr);
int pthread_cond_wait(pthread_cond_t *cond,
                      pthread_mutex_t *mutex);
int pthread cond signal(pthread_cond_t *cond);
```

Condition variable kasutamine

```
pthread_mutex_lock(&mutex);
pthread_cond_wait(&cond, &mutex);
pthread_mutex_unlock(&mutex);
```

- cond_wait laseb mutexi lukust lahti JA blokeerib lõime
- lõim ootab tingimusmuutuja *cond* teavitust.
- hiljem saadab mõni teine lõim tingimusmuutuja *cond* järgi ootavale lõimele teate ärkamiseks

```
pthread_cond_signal(&cond);
```

- äratatakse täpselt 1 lõim, millele antakse mutex tagasi.

```
pthread_cond_broadcast(&cond);
```

Meeldivat õhtu jätku